

А.П. БУРМАКОВ, канд. физ.-мат. наук,
Ф.Ф. КОМАРОВ, чл.-корр., д-р техн. наук,
В.В. ПИЛЬКО, канд. физ.-мат. наук,
В.В. ПИЛЬКО (БГУ)

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ, ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА И СВОЙСТВ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ НИТРИДА ТИТАНА, НАНЕСЕННЫХ МЕТОДОМ КОНТРОЛИРУЕМОГО МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ

Введение. Использование интенсивных корпускулярных потоков в настоящее время обеспечивает осуществление целенаправленной модификации свойств поверхностного слоя основных конструкционных металлов и сплавов, а также позволяет создавать на их поверхности новые наноструктурированные слоистые структуры с уникальными параметрами. В настоящее время на широком классе металлов, сплавов и изделий из них продемонстрировано существенное улучшение таких эксплуатационных характеристик как коэффициент трения, износостойкость, коррозионная и термическая стойкость при уменьшении размера зерна покрытия.

Результаты и их обсуждение. В качестве материала основы для изготовления композиционных мишеней был использован мелкодисперсный порошок титана, содержащий, согласно техническим условиям, не более 0,3 % посторонних примесей, в качестве легирующей примеси – особо чистые порошки хрома, кремния и алюминия. Концентрация примесей варьировалась от 8 до 50 ат. %. Диски диаметром 49,6 мм и толщиной до 6 мм были спрессованы методом взрывной компрессии в Институте порошковой металлургии НАН Беларуси.

Для магнетронного нанесения пленок была использована вакуумная установка типа УРМ 327. Управление расходом азота осуществлялось системой, состоящей из спектрометра S100, персонального компьютера и контроллера обратной связи в реальном масштабе времени по одному из оптических алгоритмов [1].

Установлено, что наиболее эффективным является алгоритм, основанный на поддержании постоянным отношения интенсивности молекулярной полосы азота N_2^+ с максимумом на 391,4 нм к интенсивности группы спектральных полос титана, расположенных в интервале длин волн 361–365 нм. На рисунке 1 показан участок спектра, где светлыми полосами выделены указанные контрольные элементы. Молекулярная полоса азота N_2^+ 391,4 нм является самым интенсивным элементом азота. Линии титана в интервале 361–365 нм относятся к ярким и расположены близко к полосе азота, что позволяет исключить влияние запыления оптического окна на величину измеряемого отношения интенсивностей. В качестве подложек при исследованиях процессов нанесения покрытий были использованы нержавеющая сталь 12Х18Н9Т, спектрально чистый графит и NaCl.

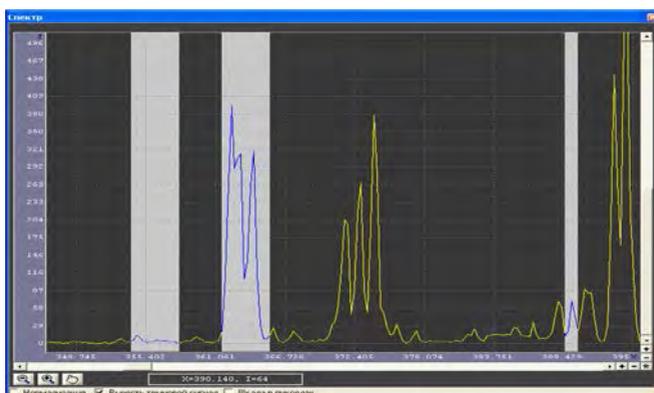
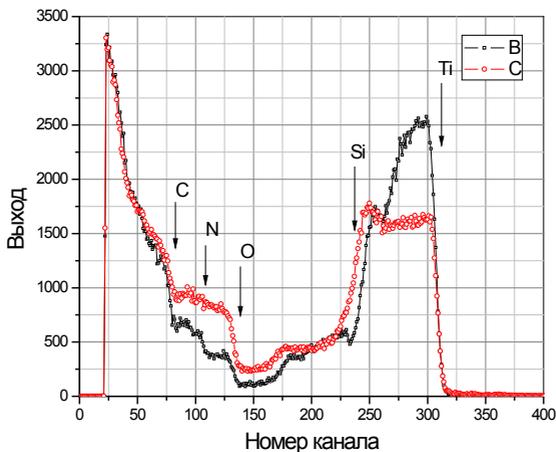


Рисунок 1 – Участок спектра с контрольными спектральными элементами, используемыми для управления расходом азота при нанесении слоев

Контроль качества подготовки подложек и состава слоев осуществлен методом резерфордовского обратного рассеяния (РОР) высокоэнергетических ионов гелия. В качестве примера рассмотрим спектры РОР ионов гелия от тонких слоев Ti-Si-N, сформированных при различных балансах поступления компонент, представленные на рисунке 2.



В и С – режимы с дефицитом и избытком реактивного газа, соответственно

Рисунок 2 – Спектры RPO ионов гелия с энергией 1,3 МэВ от тонких слоев Si-Ti-N, осажденных на поверхности графитовой подложки

Из анализа спектров RPO установлено, что соотношение концентраций компонент в распыляемой мишени, при условии отпыла поверхностного слоя, с достаточно высокой степенью точности может быть перенесено на соотношение атомных концентраций компонент в слое, а распределение компонент по глубине слоя, при точной дозировке либо избытке реактивного газа, однородно и позволяет предположить однородность структуры слоя.

Анализ морфологии и фазового состава проводили с помощью просвечивающего электронного микроскопа HITACHI-N800. Полученные электронно-микроскопические изображения показали, что в диапазоне соотношений атомных концентраций титана и примеси от 5 до 12 отдельные кристаллиты компонент покрытия не могут быть отображены используемой методикой, что свидетельствует о нанокристаллической однородной микроструктуре.

На рисунках 3 и 4 представлены типичные электронно-микроскопические изображения покрытий Ti-Si-N. Из рассмотрения рисунков очевидно, что следует ожидать сильного уширения дифракционных пиков основной фазы покрытий и можно сделать вывод о наноструктурированности слоев.

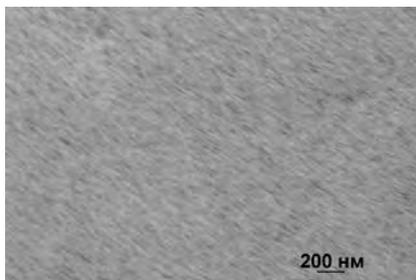


Рисунок 3 – Электронно-микроскопическое изображение покрытия Ti-Si-N с соотношением Ti/Si, близким к 2

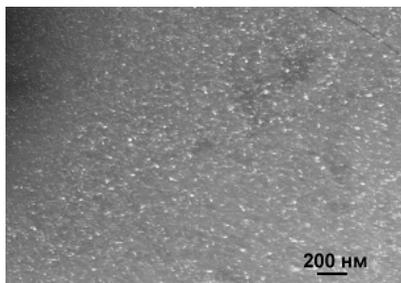
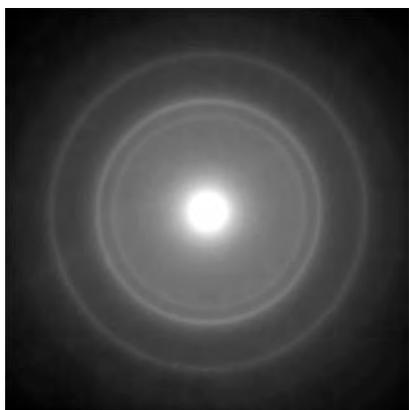
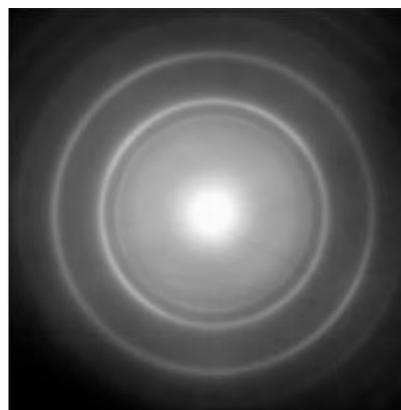


Рисунок 4 – Электронно-микроскопическое изображение покрытия Ti-Si-N с соотношением Ti/Si, близким к 1,5



В



С

Рисунок 5 – Картины электронной дифракции от слоев, представленных на рисунках 3 (В) и 4 (С), соответственно

Как показывают результаты обработки дифрактограмм, уже при концентрациях примесей более 8 ат. % основу слоев составляет наноразмерная кристаллическая фаза TiN. При увеличении концентрации примеси зарегистрировано уширение дифракционных пиков и изменение соотношения их интенсивностей. Оценки, проведенные согласно формуле Дебая–Шерера, дают в исследованном диапазоне концентраций примеси для размеров кристаллитов основной фазы значения от 7 до 20 нм. Примесные компоненты слоев нахо-

дятся в ультрадисперсной либо аморфной фазах. Об этом свидетельствует присутствие на электронограммах диффузного фона.

Исследование трибомеханических свойств образцов упрочняющих и наноструктурированных покрытий осуществлено методом «диск на плоскости» путем сравнительных измерений износостойкости образцов нержавеющей стали 12Х18Н9Т с покрытием из нитрида титана и без покрытия. Результаты измерений представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Износ образцов нержавеющей стали 12Х18Н9Т с покрытием из легированного кремнием нитрида титана и без покрытия

Регистрируемый параметр	Образец с покрытием			Образец без покрытия		
	Трек 1	Трек 2	Трек 3	Трек 1	Трек 2	Трек 3
Длина трека, мкм	90	85	90	550	600	550
Износ, куб. мкм	4800	4740	4800	1500000	1680000	1500000

Измерения проведены для покрытий из нанокристаллического нитрида титана толщиной 1,2 мкм, нанесенных магнетронным методом на поверхность нержавеющей стали. Нагрузка на узел трения составляла 0,1 Н, длительность процесса износа – 1000 с, контртелом являлся диск из нержавеющей стали диаметром 60 мм, лубрикантом – этанол.

Заключение. При использовании композиционных мишеней для нанесения легированных примесью покрытий на основе нитрида титана в атмосфере аргона с добавлением азота, давлении в камере магнетронного нанесения покрытий $(2-4) \cdot 10^{-1}$ Па, мощности разряда 200–400 Вт и толщине покрытий в диапазоне 0,1–0,5 мкм, формируются однородные по составу и структуре слои.

Установлено, что фаза TiN является мелкодисперсной с размерами зерен от 7 до 20 нм, а примесные фазы аморфны либо имеют зерна размером около нескольких нанометров.

Износостойкость тонких микрокристаллических упрочняющих покрытий и наноструктурированных слоев превышает износостой-

кость нержавеющей стали и эффективно контролируется методом трения в паре «диск-плоскость».

Литература

1. Интенсификация процессов формирования твердотельных структур концентрированными потоками энергии / А.П. Бурмаков [и др.]; под общ. ред. А.П. Достанко и Н.К. Толочко. – Минск: Бестпринт, 2005. – 682 с.

УДК 621.785:621.81

В.Г. ДАШКЕВИЧ, канд. техн. наук (БНТУ)

УПРОЧНЯЮЩАЯ ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ С НАПЛАВЛЕННЫМ ПОКРЫТИЕМ

В практике наплавочных работ полноценная термическая обработка деталей используется недостаточно [1, 2]. Наряду с традицией, причинами указанной ситуации являются сложность согласования режимов термической обработки детали и наплавленного слоя и отсутствие данных по закаливанию и прокаливаемости наплавленных слоев.

В целом необходимость проведения термической обработки наплавленных деталей вызвано следующими факторами:

– уровень остаточных напряжений после проведения наплавки превышает допустимый, высока вероятность изломов, например, хрупкого разрушения при ударных нагрузках. Термическая обработка позволяет улучшить структуру и снизить напряжения до допустимого уровня;

– значительная неоднородность свойств, которая связана с ликвацией легирующих элементов. Термическая обработка позволяет значительно повысить однородность структуры и свойств соответственно;